

基于建筑物地震反应的地震预警系统

张鹏程 纪似玉

(厦门大学建筑与土木工程学院 福建厦门 361005)

摘要: 为完善地区抗震烈度区划表,以及推演所覆盖地区地壳断裂带的分布特征,在地震预警速报研究的基础上,利用与房屋的自振周期相同的振子、镜像模拟房屋震时反应,以对危险趋势做出及时报警,以预警器为神经元,建立覆盖一定地区地震及时预警系统。

关键词: 建筑物; 预警器; 实时预警; 地震灾害; 应急系统

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2016)02-0109-04

Earthquake early warning system based on earthquake response of buildings

ZHANG Pengchen JI Siyu

(School of architecture and civil engineering, Xiamen 361005)

Abstract: On the basis of the research of earthquake early warning, the thesis uses the vibrators with the same natural vibration period of housing to form the image simulation of the conditions of the housing in the earthquake, then can set an early warning of the tendency of risks and establish the in-time earthquake early warning system covering a range of areas with the early warning indicators as nerve cells. Thereafter, the long-term data accumulation of the system can be used to further perfect the earthquake intensity zoning map of China and predict the distribution characteristics of the crustal fault zone in the covered areas.

Keywords: Buildings; Early warning device; Real-time early warning; Earthquake early warning

0 引言

地震是一种自然现象,它与天体运动、地球气候以及地壳结构的局部演变、改变等诸多因素有关,准确的预报地震难度很大。地震动可以摧毁地面建筑、桥梁等,有时也会诱发泥石流、核泄漏、火灾等次生灾害,从而造成人员伤亡以及设施损毁。“建造抗震房屋”和“及时预警”是目前得到绝大多数科学家认可的有效的减少灾难损失的方法。对地震灾害的防范是庞大的系统工程,建立有效的地震预警系统是其中一项重要内容。

基于实时地震监测台网所建立地震速报系统的原理主要是台网拾取的异常地动信息可以通过电话或无线电波的传播速度($300\,000\text{km/s}$)远大于地面地震机械波波速(通常 10km/s),立刻发布速报信息,通知相关机构迅速做出防灾反应。一次地震发生时,震

源散发出的机械波中的纵波(P波)往往先于破坏性更大的横波(S波)及其衍生波到达地面,对异常P波的拾取及速报可以收到更好的效果。相应的地震应急防灾系统则是在收到速报信号之后,快速进行相关区域对地震敏感的交通、建筑设施停运,人员疏散,核电站关闭等。

目前全球已经发展了多套地震速报系统。如日本的UrEDAS、墨西哥SAS和SASO、美国ElarmS、土耳其的PreSEIS和SOSEWIN系统、我国台湾地区试验性预警系统、土耳其伊斯坦布尔市预警系统及罗马尼亚布加勒斯特地震预警系统等。此外,美国加利福尼亚州及意大利等一些国家也在建设类似系统^[1];我国大陆也在研发基于实时传输测震台网和强震动台网的地震预警系统,并拟先在福建地区、首都圈地区和兰州地区进行布设。

虽然这些系统各有自己的不同特点和优势,但论其基本构成大致相同。主要由地震监测台(网)、通讯系统、中央处理控制系统和对用户的警报系统等4部分组成。其中核心技术室中央处理控制系统主要负

作者简介: 张鹏程(1972-),男,副教授。

E-mail: zpcchina@yahoo.com.cn

收稿日期: 2015-11-29

责地震参数的测定。地震早期预警仍是一项复杂的系统工程,其高度集成、实时监控以及快速响应的特点,要求科技人员、政府和社会公众等多方面共同合作才能发挥功效^[1]。

1 基于建筑物地震反应的地震报警器

与大范围的地动监测相比,如果对某个具体地点的具体建筑物在遭遇突发地震时是否有危险进行实时监测及时预警,则可以起到更有效的防灾作用。它可以既准确又省去了信号传输过程,利于做出快速响应,即可以通过对建筑物、桥梁、隧道的遇震安全性进行监测并利用监测提供的预警信号实现实时速报。以工程结构自身作为“神经元”,以区域中具体建筑物、桥、隧设施为地震信息载体,通过监测、采集建筑物日常地震反应信息,绘制实时记录图表,发现异常时,及时鉴别,及时发出预警信号。

建筑物往往基于一个计算简图,设计参数来源于实验测定,一个设计明确、施工精良的建筑物的地震反应与设计目标可以大致吻合。建筑的结构已经被设计得具备相当的承受力,利用它感知到最初的弹性振动到破坏性振动的间隙,一样可以提醒其内以及周边人员避险。

预警系统的建立可以通过在建筑物内安放如图 1 所示的预警装置。

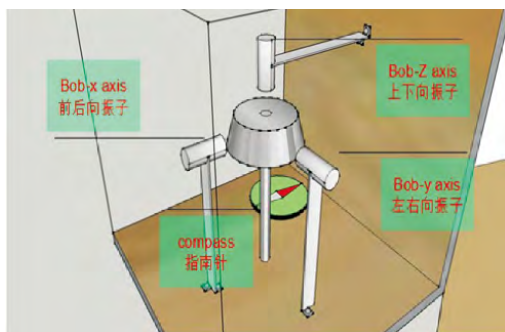


图 1 地震预警器示意图

建筑结构本身都有基本准确的振动特性,例如常用各类房屋在摇晃时都具有一个可估计的自振周期,而一旦遭遇可与其发生共振的地震动时,都是房屋最可能发生破坏的状况。基于大量的工程检测经验,各类常用结构,通常可以利用表 1 所列的经验公式,基本准确地估算一幢具体建筑物的最危险的振动周期(第一自振周期)。

也可根据第一振型周期估算公式 $T = 2\pi \sqrt{m/k}$,

选用自振周期与房屋结构第一周期相同的振子来模拟房屋地震时的震动状态,即采用同周期的镜像振子来设计预警器。

表 1 第一自振周期经验算法

结构类型	结构层数	第一自振周期
钢筋混凝土框架结构	N	$T = (0.08 \sim 0.10) N$
钢筋混凝土框架—抗震墙结构	N	$T = (0.06 \sim 0.08) N$
钢筋混凝土筒中筒结构	N	$T = (0.04 \sim 0.05) N$
钢—钢筋混凝土组合结构	N	$T = (0.06 \sim 0.08) N$
高层钢结构	N	$T = (0.08 \sim 0.12) N$

房屋结构按照设防烈度进行抗震设防,也可通过设定一个比设防烈度略小的预警烈度进行耐震预警。镜像振子本身与所在房屋振动特性相同,振子的反应如果超过预警烈度则报警,没超过则保持静默。通过实时监控,当地震使房屋的侧移角度达到预计破坏的最大侧移角前,装置作出报警反应,启动预警系统。为避免受到人们日常活动以及风、车辆引发振动等影响,微小而敏感的振子需要一个避风盒进行保护,并安装在公共建筑底层易于观测的位置。对于数量更大的民用住宅,可以安装在卧床枕侧的墙上,以利于夜间发生危险地震时及时报警,唤醒沉睡中的住户。

一般情况下,地震发生时,速度快、危害小的 P 波会先行抵达地表。P 波使得建筑物上下晃动,上下向的振子(Bob-Z axis)随建筑物一起振动。如图 1 所示,用刚度较小的薄钢片来固定,当感受到振动时可以发出警报信号。同样 S 波抵达时候,依靠左右方向的振子来实现报警。

各振子的振动属于受迫振动,受迫振动是由周期性变化的激振力所引起,其振动的频率等于激振力的频率(或为激振力频率的倍数),可根据振子的振动频率简单推出地震的频率以及周期。

2 基于建筑物地震反应报警器的地区预警系统

2.1 系统组成部分

2.1.1 实时监控装置

安放一个灵敏度高的预警器。该预警器能够及时检测到地震的发生,通过计算确定能够使得建筑物发生破坏的偏移角度和位移。最好通过检测 P 波的振幅、频率等来确定建筑物是否会发生破坏,并以此来发出预警信号。用一个指南针确定结构朝向;东—西、南—北、上—下振子可敲击铃铛报警;振子与各自

所代表的方向上的结构周期相同。当地震来临时首先监测到 P 波,通过上下向的振子及时发出预警信号,对整栋楼发出警报,并把信号通过电缆发送到附近的地震台网,对比系统中收录的信号,进而推测地震发生的位置并计算较大振幅的 S 波会在何处抵达,从而完成对更大范围的预警。

2.1.2 P 波检测设置

P 波的震动有上-下振动,破坏较弱,传播速度较快的特点,目前主要通过对 P 波的拾取作为地震震级测定主要方法。本文旨在通过简单机械进行地震发生的确定和通过简单报警装置实施居民楼内部的报警系统,不做准确测定。

目前人们已经发展了应用 P 波来估计地震灾害的各种观测参数,其中 $B-P_v$ 方法是通过振幅和 B 值来确定地震震级。 $B-P_v$ 方法: P 波段地震波形的包络可以用 $S_{u0} = B \cdot t \cdot \exp(-At) \cdot u(t)$ [2] 来模拟,通过对一定数量地震拟合垂直分向 P 波速度记录的包络函数并反演求公式参数 B 和 A 。用 $M = \lg P_v + b \lg B + c$ 确定震级的方式来逆推破坏地震时 P 波振幅 P_v 和 B 值。一般 1~3 级地震发生时只有精密仪器才能发现,3~5 级地震会有轻微震感,但不会造成建筑物破坏,本预警器通过 5 级地震的 $B-P_v$ 方法确定的振幅值作为报警阈值。

因为 P 波上-下振动的特性,可通过上文方法确定破坏震级对应幅值,而后通过调整上-下振子距离响铃的位置来拟合破坏震级对应幅值。

2.1.3 报警器信号通讯设置

报警器宜布置于楼层顶部避免干扰的地区,另外还应布置于有专人负责的区域。当地震来临时,首先楼层内的预警器发出预警信号,引发报警装置,提醒居民。在每个居民房间内设置和预警器关联的蜂鸣器,可以让楼内居民可以尽早知晓地震的发生。同时当发生误报时候,在专人看管区域可以通过手动来停止警报,避免造成恐慌。

报警器还兼有预警分级的作用,依据振动幅度将地震分为 3 个等级,即微感、有感、破坏震感。并采用 GSM/CDMA 信道传递方式,及时将地震信息传递出去。区域监控。与政府放在中心联通。信号共通。无线发射器。信号由地震防灾中心进行甄别并发布相关范围预警信息。

2.1.4 震时安全区域的设置

本系统的主要目的在于减少人员的伤亡,因此最

好事先划定在遇到地震时能够躲避建筑物倒塌的区域。安全区域内不受建筑物倒塌的影响,并像消防通道一样给居民指引撤离的安全路线。这一点需要在设计时纳入考虑,对已规划完成的居民区,应合理选择,实地考察后确定。

对于居民区可在门卫室设置大的警铃开关,以及有应急供电的广播系统。在发生地震时候通过广播,引导人们迅速有效地向原先设定的安全区域撤离。

2.2 系统的布置

在我国地震所造成的伤亡主要由农村的低层民居倒塌造成。低层的砖石砌体房屋抗水平能力较弱,并且建筑物本身自重较大,极易造成严重的倒塌伤害,这些区域宜多做布置。具体做法为:在房屋顶部安放,并连接蜂鸣器,报警器要有独立的供电,可储备电源以应对突发情况,另为保险起见,可选用机械报警装置,即使出现设备断电时仍然可以依靠拾取地震产生的地动能量来实现报警。

对于发生在夜间的灾害要远比白昼造成的损失重大。如 1976 年 3 月 24 日 23 时 15 分唐山发生里氏 7.8 级大地震,超过 24 万人在地震中遇难,一是因为震中为市中心,震级较高,另外也是由于发生在夜间。预警器完全可以比人类自身更早地觉察到地震的发生,从而叫醒睡梦中的人们,避免惨剧地发生。

2.3 功能特点

(1) 电话预警、短信、大功率广播预警发布。

布置在小区有专人看管的地方,比如门卫室,地震来临时,可以及时通过大功率广播来提醒用户。预警器可将地震信息传递给地震台,然后由地震台通过电话和短信预警。

(2) 利用地震产生的动能,预警器机械振动报警。

在无供电的情况下,预警器将依靠自身振动所产生的声音来提醒用户,实现预警。

(3) 实时预警在断电情况下即可利用动能机械报警,并对居民楼内部进行报警提醒。

(4) 独栋楼内部开设双线,一条与户主相连,另一条与消防系统公用,作为应急反应系统一部分。

(5) 采用 GSM/CDMA 信道传递方式。

(6) 对收集到的信号进行记录,可提取,便于灾后研究。

(7) 确定报警限值,可尽量避免误报。

(8) 采用警笛报警传播特性好,穿透力强。

(9) 采用低功耗设计,有震时激活,无震时自动

静默。

该报警器可在每家每户设置,然后通过 GPS 连接到地震台网。共享地震台网的信息,与之相辅相成更为有效地对地震的发生实施预警。

3 讨论

地震预警与地震预报的不同之处在于:地震预警是通过确认地震发生后,利用地震波纵横波的传递时间差来进行预警。地震速报则是在地震发生之时快速地向震源周边地区发布预警信息。

首先我们需要了解地震预警系统的原理:地震的破坏主要来自地震波,而地震波包含 P 波(纵波)和 S 波(横波)两种形式,P 波主要是上下的振动,危害较小,传递速率较快,通常为 6~7 km/s。并且在一般情况下,P 波的信号强度要远大于背景噪声,能轻易判定,这就给监测提供了可能。地下的 S 波会使得建筑物进行水平晃动,这就是地震时造成建筑物破坏最主要的因素。中国有个成语叫“迅雷不及掩耳之势”,我们可以利用光与声传播速度的不同,提早掩住耳朵以避免雷声冲击。同理,也可以利用 P 波出现 S 波之间的速度差来立即作出反应,以最大限度地减少灾害造成的损失^[3]。

理论上来说,对于距震中 30 km 的地区往往会有更为有效的时间进行地震预警。分析汶川和青海的两次地震造成的灾害,低矮民房因为设计的不规范以及使用年代久远等诸多问题,成为造成伤亡的主要因素,而快捷的地震预警可以让低矮民房中的居民及时撤离,从而降低人员伤亡。

中国地震台网速报消息,从 2013 年 10 月 31 日

吉林松原 5.5 级地震到 12 月 8 日 16 时,共记录到地震事件 712 次,其中 3.0 级以上地震 23 次,包括 5.0~5.9 级 5 次,4.0~4.9 级 6 次,3.0~3.9 级 12 次。松原地区的地震频发难免会使群众恐慌,该预警器可以在这一地区广泛布置,以应对可能发生的较强地震。因为该装置成本低,安装简单,并且已通过国家的专利申请,有足够的理论基础,可用于弥补我国中小型城市的地震预警系统力所不及之处,以及应急联动的漏洞^[4]。

4 结论

本研究通过针对具体建筑物设计该建筑物的拾振预警系统,提供该建筑物的反应预报。选用与该建筑物的第一地震周期相同的振子来模拟震时振动。振子通过利用地动激振(条件许可可采用电子辅助),实现单栋房屋预警,再通过无线讯号与地震台建立联动,由地震台判断预警器的收录信息是否正确,从而实现更大范围内的地震预警。另外该预警器中可用于记录振动数据用于检测地震发生时记录地震三要素,记录档案可用于研究修订当地抗震设防烈度区划。

参考文献

- [1] 殷海涛,刘希强,李杰,等.现今地震预警技术及其在国内发展状况的探讨[J].中国地震,2012,01:1-9.
- [2] 刘希强.高斯线调频小波变换及其在地震震相识别中的应用[J].地震学报,2002,24(6):607-616.
- [3] 李山有,金星,马强,等.地震预警系统与智能应急控制系统研究[J].世界地震工程,2004,04:21-26.
- [4] 袁志祥,单修政,徐世芳,等.地震预警技术综述[J].自然灾害学报,2007,06:216-223.

张鹏程(1972-)男,副教授,博士,主要从事建筑物防灾减灾方面的工作。

纪似玉(1990-)男,硕士研究生,主要从事结构工程分析与研究。